

INCIDENCIA DE LA VELOCIDAD DE APLICACIÓN DE CARGA EN LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO DE SUELOS RESIDUALES DE ANFIBOLITA EN EL VALLE DE SAN NICOLÁS, ANTIOQUIA (COLOMBIA)

 MANUEL ALONSO BUILES BRAND

RESUMEN

Los suelos residuales por su proceso de formación tienen unas características especiales que no están caracterizados dentro de la mecánica de suelos tradicional dedicada a los suelos sedimentarios. El proceso de meteorización según los ciclos de exposición a los que sean expuestos presentan variaciones en su composición y comportamiento mecánico. Suelos residuales de anfibolita localizados en el Valle de San Nicolás, cerca de la ciudad de Medellín han sido recuperados y ensayados. La variación de la velocidad del ensayo de corte versus la resistencia al corte no drenada ha sido evaluada mediante la realización de ensayos de corte UU sobre muestras inalteradas recuperadas mediante la utilización de Tubos Shelby de pared delgada, se presentan las gráficas de variación del esfuerzo cortante, la cohesión y ángulo de fricción *versus* la velocidad y su incidencia en el diseño.

PALABRAS CLAVE: suelo residual; ensayo de corte; velocidad del ensayo; resistencia al corte.

INCIDENCE OF SHEAR STRENGTH RATE FOR RESIDUAL SOILS FROM AMPHIBOLITE AT THE SAN NICOLAS VALLEY IN ANTIOQUIA STATE, COLOMBIA

ABSTRACT

Residual soils by their formation process have special characteristics that are not characterized in traditional soil mechanics devoted to sedimentary soils. The weathering processes according to the cycles of exposure to those who are exposed have variations in composition and mechanical behavior. Residual soils from Amphibolite rock located in the valley of St. Nicholas, near the city of Medellin have been recovered and tested. The variation of the speed versus shear strength of the undrained shear strength was evaluated by conducting direct shear tests on undisturbed samples under Unconsolidated and Undrained conditions, soil samples were recovered using shelly thin-walled tubes, graphs of the variation of the shear strength, cohesion and friction angle versus speed and their impact on design.

KEYWORDS: Residual Soil; Shear Test; Test Speed; Shear Strength.

1 Ingeniero civil, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. MsC. Ingeniería Civil Universidad de Tokio, Tokio (Japón). Profesor Escuela de Ingeniería de Antioquia —EIA—.



Autor de correspondencia Builes-Brand, M. A. (Manuel Alonso): Escuela de Ingeniería de Antioquia —EIA— km 2+200 variante Aeropuerto JMC, Envigado (Colombia). C.P.: 055428. Tel: (574) 354 90 90 Ext. 231 Correo electrónico: pfmabuiles@eia.edu.co

Historia del artículo:

Artículo recibido: 15-IV-2013 / Aprobado: 17-II-2014

Disponible online: 12 de mayo 2014

Discusión abierta hasta mayo de 2015



INCIDÊNCIA DA VELOCIDADE DE APLICAÇÃO DE CARGA NA RESISTÊNCIA AO CORTE NO DRENADO DE SOLO RESIDUAIS DE ANFIBOLITO NO VALE DE SAN NICOLÁS, ANTIOQUIA, COLÔMBIA

RESUMO

Os solos residuais, devido aos seus processos de formação, tem uma características especiais que não estão caracterizadas dentro da mecânica de solos tradicionais dedicada aos solos sedimentários. Os processos de meteorização segundo os ciclos de exposição aos que estão expostos apresentam variações na sua composição e comportamento mecânico. Solos residuais de anfíbolito localizados no vale de San Nicolás, perto a cidade de Medellín foram recuperados e ensaiados. A variação da velocidade do ensaio de corte contra a resistência ao corte não drenado foram avaliados mediante a realização de ensaios de corte UU sobre amostras inalteradas recuperadas mediante a utilização de tubos shelby de parede fina, apresentam-se as gráficas de variação do esforço cortante, a coesão e ângulo de atrito contra a velocidade e a sua incidência em desenho, apresentam-se as conclusões e recomendações ao final.

PALAVRAS-CHAVE: Solo residual; Ensaio de corte; Velocidade do ensaio; Resistência ao corte.

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos residuales son el producto de la meteorización química y mecánica de una roca a través del tiempo (Wesley, 2010), este proceso continuo hace que la roca se descomponga en múltiples horizontes de suelos los cuales dependen en gran medida del avance de la meteorización y de los minerales constitutivos de la roca que se ha ido alterando en cada ciclo a lo largo del tiempo.

En los proyectos de ingeniería es muy importante conocer la velocidad con la que se aplican las cargas, cuál será el comportamiento del suelo ante dichas cargas, pero es tal vez más importante conocer cuál es la respuesta del suelo cuando se varían las velocidades de aplicación de dicha carga.

La resistencia al corte en suelos es de especial importancia entre los muchos parámetros que se obtienen del suelo, especialmente por su incidencia en la estabilidad de las estructuras (estructuras de contención, taludes, fundaciones entre otras).

Muchos parámetros del suelo tienen influencia en la resistencia cortante, como el tamaño del grano, distribución granulométrica, humedad, historia de tensiones, velocidad de ensayo, tamaño de la muestra, (Kramer y Rizkallah, 1976), sin embargo otros investigadores

han encontrado que el equipo utilizado e inclusive a el personal involucrado en la toma y ensayo de la muestra de suelo, tienen un efecto considerable en los resultados (Shibuya, *et al.*, 1997, Stoewahse 2001); así el resultado de un ensayo de una muestra de suelo será la combinación de una serie de eventos como el tipo de suelo y el equipo utilizado (Saada y Townsend 1981). Son tantas las variables que se ven involucradas en la medición de la resistencia cortante en suelos que no hay consenso sobre una en especial (Rowe 1969).

En el ensayo de corte directo no se pueden medir presiones de poro y debido a este fenómeno el problema se traslada a determinar la velocidad de corte necesaria para encontrar los parámetros mecánicos según los requerimientos del estudio, en este artículo no se describe ni se analiza el efecto de la succión sobre la resistencia.

La máquina de corte, fue utilizada bajo la modalidad de deformación controlada, lo cual puede generar unos resultados confiables.

2. MARCO DE REFERENCIA

En la literatura técnica se ha escrito en distintas épocas sobre el tema, enfocado principalmente a suelos sedimentarios. Casagrande and Shannon

(1949) en unos ensayos sobre arcillas de Cambridge y unas arenas de Manchester encontraron una relación directa entre el tiempo que se toma en hacer el ensayo y la resistencia obtenida, entre más tiempo tome hacer el ensayo, menor es la resistencia a la compresión y; a menor tiempo en la realización del ensayo, mayor es la resistencia.

Eid, *et al.* (1999) hicieron ensayos en suelos reforzados previamente saturados, con presiones de confinamiento 100, 200 y 400 kPa, y con velocidades de corte variables entre 0,015 hasta 36,5 mm/min; encontraron que la resistencia al corte aumenta considerablemente al aumentar la velocidad con la que se realiza el ensayo.

Huat, *et al.* (2006), encontró que la velocidad de aplicación de la carga tiene un efecto muy profundo en la relación de vacíos y en el grado de saturación, pero tiene un efecto insignificante en la humedad natural sometida a una succión aplicada constante; en el caso del suelos sin succión tiene un efecto insignificante en la relación de vacíos, contenido de humedad y grado de saturación. Una velocidad de carga rápida genera sobre el suelo una gran compresión comparada con las velocidades lentas.

Se presenta en la **Figura 1**, un resultado típico de la curva tensión-deformación del ensayo de corte y, en la **Figura 2**, un resultado típico del cálculo de la cohesión y del ángulo de fricción del material.

La resistencia cortante está determinada por la Ecuación de Mohr-Coulomb, en donde se relaciona el esfuerzo vertical geoestático (σ_v), la cohesión (C) y el ángulo de fricción interna del material (ϕ), y se expresa con la **Ecuación 1**.

$$t=c+\sigma_v \tan\phi \tag{1}$$

Interpretaciones del ensayo de corte han sido consideradas por De Josselin de Jong (1972), quien manifestó que el ángulo de fricción depende la magnitud relativa de los esfuerzos verticales y horizontales aplicados, lo cual se interpreta que el ángulo de fricción interna es distinto para suelos normalmente consolidados que para suelos sobreconsolidados. Airey and Wood (1985) manifiestan que el ensayo de corte directo no puede ser fácilmente comparable con ensayos realizados con otras metodologías, sinembargo Laad (1973) reporta que resistencias calculadas por medio de regresión en análisis de estabilidad de taludes han concordado con un buen margen con resultados medidos en ensayos de corte.

3. GEOLOGÍA Y MATERIAL DE MUESTRA

Las muestras se recuperaron mediante la utilización de Tubos Shelby de pared delgada, del sitio de prueba que se tiene en la Escuela de Ingeniería

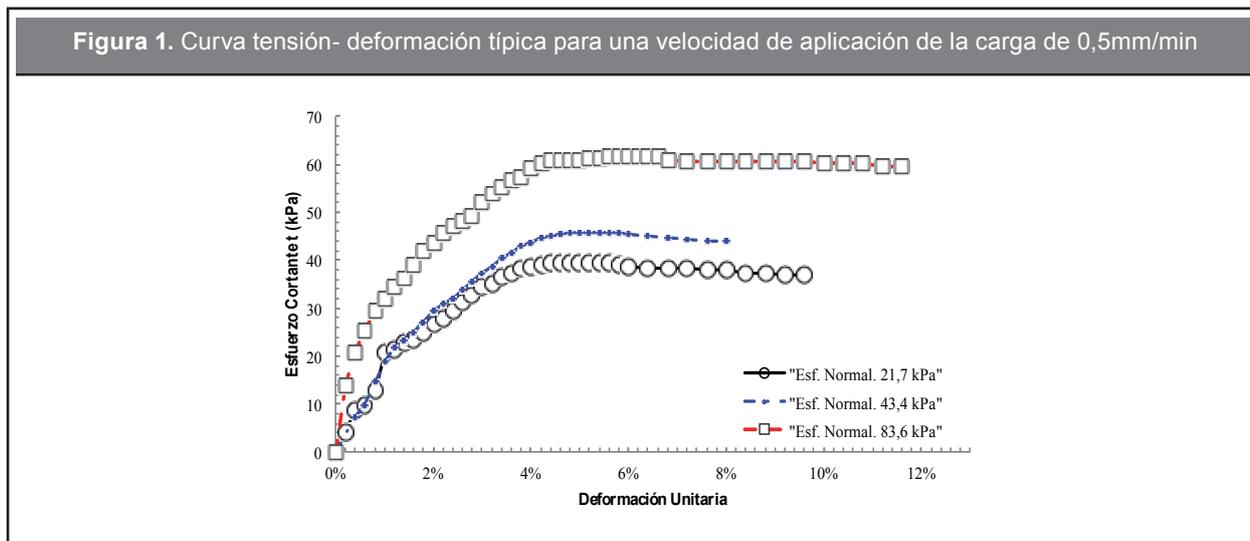
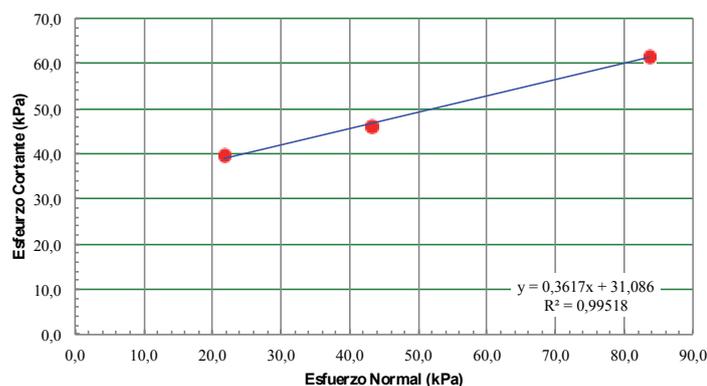


Figura 2. Resistencia al cortante vs tensión normal, para una velocidad de aplicación de la carga de 0,5 mm/min



de Antioquia —EIA—, en el Valle de San Nicolás, las muestras se extraían e inmediatamente se procedía a sus ensayos de laboratorio como clasificación, pesos, humedades, granulometría, y características mecánicas utilizando el Ensayo de Corte U.U.

El suelo en estudio corresponde a un suelo residual de anfibolita que tiene un número de golpes según el ensayo de penetración estándar (SPT) muy bajas, lo que podría asemejarse probablemente a suelos con esfuerzos cortantes muy bajos, sin embargo estos valores se deben corroborar en laboratorio para su correcta clasificación. Las condiciones muy blandas en los primeros 3 a 4 m de profundidad, luego cambia a un suelo con un número de golpes según el ensayo de penetración estándar (SPT) medio-altos, lo que podría asemejarse probablemente a suelos con esfuerzos cortantes medio-altos, sin embargo estos valores se deben corroborar en laboratorio para su correcta clasificación y denominación. Con algo más de rigidez hasta aproximadamente los 10m, allí se encuentra probablemente el saprolito hasta una profundidad aproximada a los 15 a 20m, en donde se podrá encontrar la roca sana.

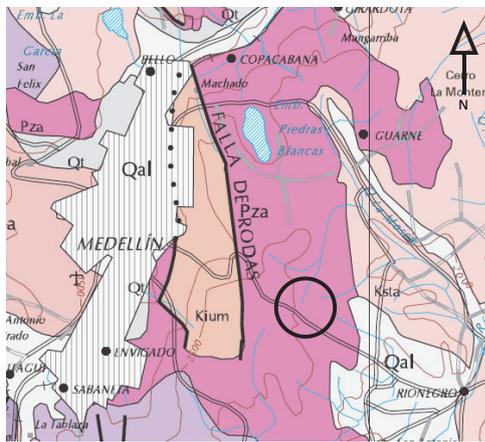
Los diferentes cuerpos de anfibolita considerados en la zona, pertenecen a la facies de anfibolita, en condiciones de medio grado de metamorfismo, tal y como lo indica el tipo de plagioclasa intermedia a cálcica, con hornblenda, como se observa en la **Figura 3**, la zona que está con un círculo, es la zona que se está evaluando en el presente artículo. (Restrepo, *et al.*, 1991).

Las anfibolitas asociadas a los intrusivos néisicos sintectónicos pudieron haberse originado, en gran parte, por efectos térmicos sobre esquistos verdes cuyo origen está relacionado con eventos volcánicos. Los lentes y capas de anfibolitas de pequeño espesor y extensión asociados a neises feldespáticos y a lumínicos, pudieron haberse formado durante el metamorfismo regional por efectos metasomáticos en el contacto entre sedimentos pelíticos y bancos calcáreos. (Orville, 1969).

4. SUELO RESIDUAL

En términos generales las rocas son descompuestas por la acción química del agua en parte inestable de los feldespatos y la biotita generando una alteración en los minerales de arcilla tipo caolinita y probablemente en otros minerales secundarios. Examinando el contenido mineralógico del suelo resultante aparece que la plagioclasa se descompone primero, seguido por la ortoclasa y la biotita, mientras que el cuarzo permanece intacto. Incluso al final del proceso de meteorización algunas partículas de ortoclasa y biotita pueden permanecer intactos, aunque el tamaño del grano se vuelva mas pequeño progresivamente. (Lumb, 1962). Durante la descomposición, los productos alterados como el silicio coloidal, potasio y el sodio, son lixiviados en una solución junto con los minerales secundarios de arcilla, lo que conlleva a un incremento en la porosidad.

Figura 3. Geología general de la zona de estudio



Fuente: mapa geológico de Antioquia, Ingeominas (2001)

Tabla 1. Características principales del suelo en estudio

Densidad húmeda (kN/m ³)	15,4
Humedad natural (%)	92
Límite líquido (%)	69
Índice de plasticidad (%)	20
Gravedad específica	2,70
Clasificación USCS	MH

En general, el proceso de formación del suelo residual es muy complejo y difícil de modelar y especialmente de generalizar, sin embargo se requiere de una simplificación en cuanto a la manera en la que se describe su meteorización por efectos prácticos, el cual tiene en cuenta el grado de meteorización, que va variando la composición de la roca madre desde el fondo hacia la superficie, lo cual se evidencia en campo con la clasificación que se la haga al perfil de suelo.

Existen varias teorías sobre la manera en la que se puede clasificar el perfil de meteorización, entre las más conocidas, están Deere and Patton (1971), Dearman, W.R. (1974), *The Geotechnical Engineering Office* de Hong Kong, Wesley (2010). Un buen perfil de meteorización puede dar mucha información útil intangible en geotecnia que puede ser benéfica para un proyecto, como una mala interpretación del perfil puede ser catastrófica para un proyecto.

Una de las características principales de los suelos residuales es la unión entre partículas producto de la meteorización de una parte de la roca y la rigidez que generalmente está asociada de manera independiente de la historia de esfuerzos y de la densidad.

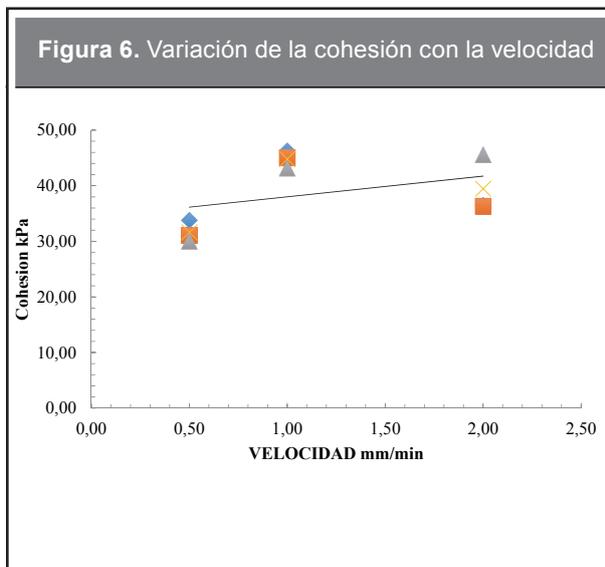
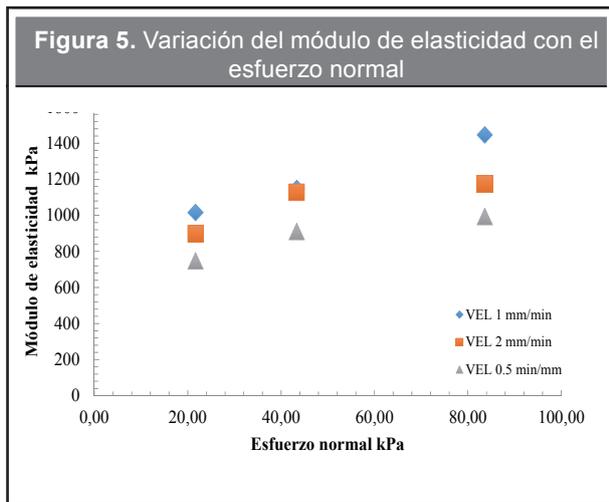
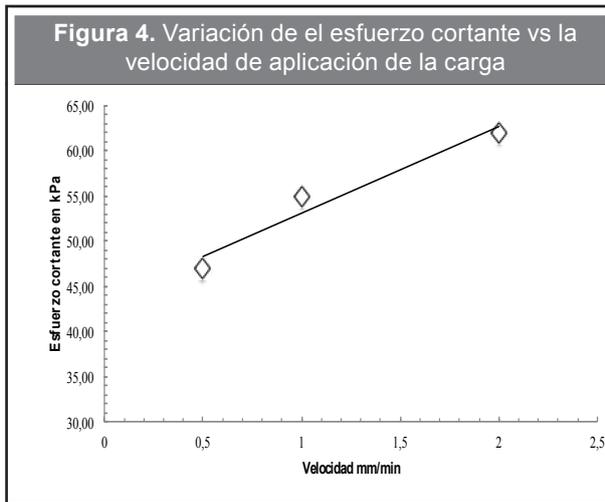
Posibles causas para el desarrollo de esa unión entre partículas puede ser la generación de una soldadura en frío de partículas en contacto debido a altas presiones, crecimiento de contactos por la meteorización química de los minerales, una cementación a través de la depositación de carbonatos, hidróxidos y materia orgánica entre otras (Vaughan, 1988).

En términos generales los suelos residuales son independientes de la historia de esfuerzos, dependen de la cementación o uniones generadas durante la meteorización y/o por altas presiones y su comportamiento está muy ligado a las discontinuidades de la roca parental.

5. PROGRAMA DE ENSAYO

El programa de ensayo se contempló haciendo ensayos de corte no consolidado no drenado por deformación controlada sobre el mismo horizonte de suelo residual de anfibolita, encontrado en la zona de prueba a una profundidad de 2,5m, y se varió la velocidad con la que se realizó el ensayo de corte. La velocidad de ensayo que se va a utilizar es de 0,5, 1,0, 2,0 mm/min; para cada velocidad se realizó el ensayo de corte en tres oportunidades para obtener un valor medio aceptable; la velocidad de ensayo inicial de 0,5 mm/min se basó en los resultados de Horn (1964), el cual describe que a dicha velocidad sí hay drenaje del material y por lo tanto se podrá tomar el ensayo de corte como no consolidado no drenado, para los otros, a mayor velocidad menor posibilidad que el suelo se drene. Se utilizaron unas presiones verticales de 21,7; 43,4 y 83,6 kPa respectivamente, en la **Tabla 1** se describen las características principales del suelo en estudio.

En muchas publicaciones, el ensayo de corte directo se ha realizado sobre muestras con una geometría cuadrada (Shibuya 1997, Matsuoka al 2001, Lindemann 2003), pero en el ensayo de corte realizado en la presente investigación, se utilizaron muestras cilíndricas de 6,35 cm en diámetro y 2,55 cm en espesor, las cuales fueron talladas cuidadosamente de



la muestra recuperadas mediante la utilización de tubo shelby de pared delgada, de la zona de estudio localizada en el campus de la Escuela de Ingeniería de Antioquia — EIA— en la sede del Valle de San Nicolás.

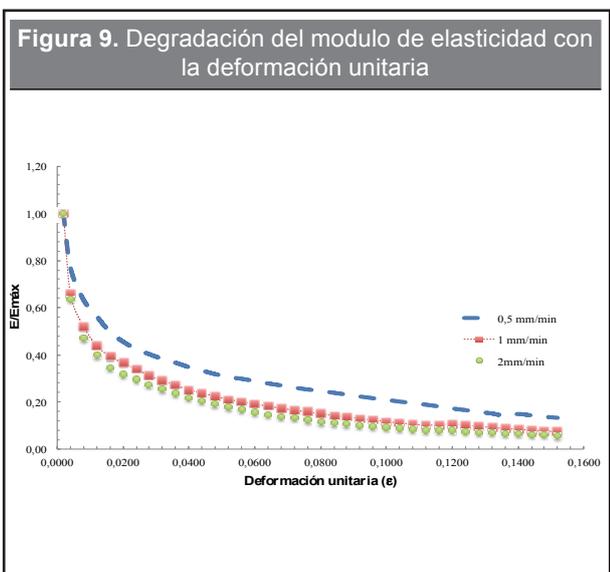
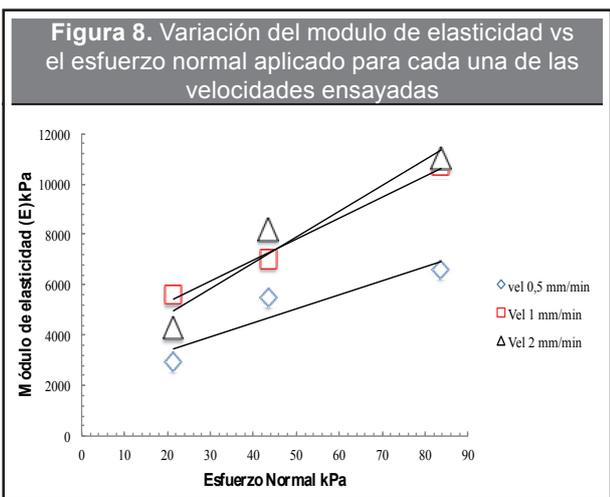
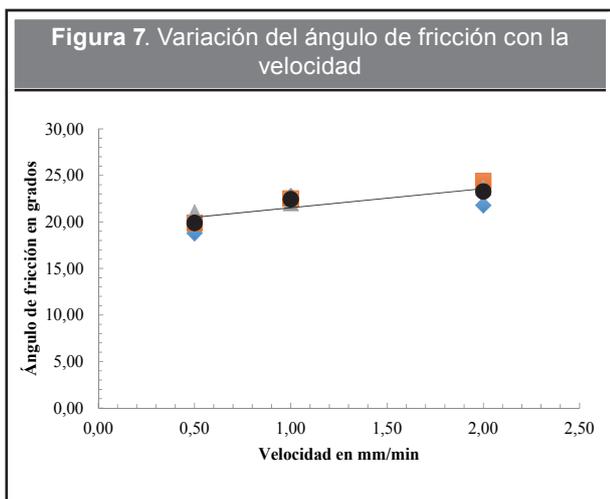
6. RESULTADO DE ENSAYOS

Independientemente del proceso utilizado para la preparación de las muestras, los errores humanos son inevitables. La preparación de muestras completamente idénticas es imposible; el proceso de realizar muestras totalmente iguales, desde el proceso de extracción, pasando por la manipulación y remoldeo e incluyendo el efecto de repetición afectan considerablemente los resultados del cálculo del esfuerzo cortante. (Philipp 1991).

Se presenta en la **Figura 4** la variación del esfuerzo cortante en la falla *versus* la variación en la velocidad de aplicación de la carga, se observa que a medida que se aumenta la velocidad aumenta considerablemente el esfuerzo cortante para un mismo nivel de esfuerzo vertical aplicado, probablemente debido a que a mayor velocidad actúan en conjunto la estructura interna del suelo junto con la presión de poros, indicando que probablemente entre ambos se redistribuyen las cargas aplicadas y por esto el incremento en la resistencia, la variación en el esfuerzo cortante en función de la velocidad tiene una variación cercana al 30 %, el esfuerzo cortante aumenta a medida que aumenta la velocidad, tomando como valor de referencia, el esfuerzo cortante evaluado a una velocidad de 0,5 mm/min.

En la **Figura 5** se presenta la variación del módulo de elasticidad en función del esfuerzo normal aplicado para cada velocidad ensayada, en la cual se observa que no hay variaciones significativas en los valores calculados para las distintas velocidades, mostrando la misma tendencia de comportamiento, lo cual nos indica que probablemente el valor del módulo de elasticidad es independiente de la velocidad de aplicación de la carga y está directamente relacionado con el esfuerzo vertical, a mayor esfuerzo vertical aplicado mayor será el modulo de elasticidad.

En la **Figura 6** se presenta la variación de la resistencia no drenada (C_u) *versus* la velocidad del ensayo, en la cual se observa un incremento en la

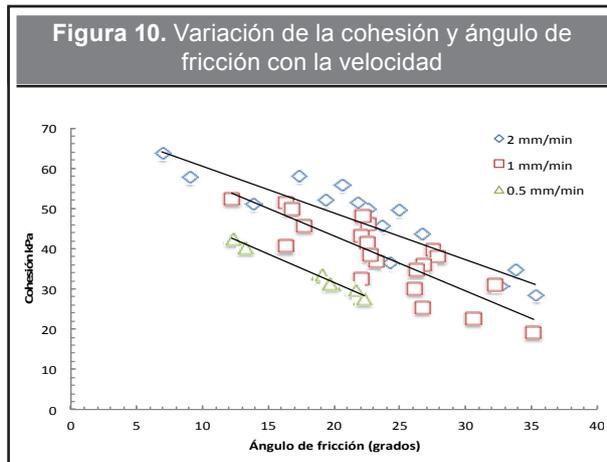


resistencia no drenada cercana al 25 %, a medida que se incrementa la velocidad con la que se realiza el ensayo, la evaluación se realiza teniendo como valor de referencia la cohesión a una velocidad de 0,5 mm/min. Esto se presenta probablemente debido a que la velocidad de aplicación de la carga es tan rápida que no permite una disipación de la presión de poros, por lo tanto esta interactúa con la estructura del material trabajando en conjunto para soportar la carga sobreimpuesta.

En la **Figura 7** se presenta la variación del ángulo de fricción con relación a la velocidad de realización del ensayo, en donde se observa que hay un leve incremento en el ángulo de fricción a medida que se incrementa la velocidad, y en éste caso, comparando con el resultado a la velocidad de 0,5 mm/min, se presenta un incremento del 18 % en este parámetro, por lo que se podría decir que la influencia de la velocidad en el ángulo de fricción es baja, se presenta probablemente por la interacción de la presión de poros y la estructura del material parental y debido a que no hay disipación de presión de poros, estas actúan juntas.

En la **Figura 8** se observa la variación del módulo de elasticidad versus el esfuerzo normal aplicado, para cada una de las velocidades evaluadas, en la cual se observa que para la velocidad de 0,5 mm/min, el incremento en el módulo de elasticidad es directamente proporcional al incremento del esfuerzo normal aplicado, lo cual sigue la teoría de elasticidad de los materiales, cuando se hace el análisis para las velocidades de 1 y 2 mm/min, se observa que no hay variaciones significativas entre ellas, pero si hay un incremento en el módulo cuando se hace la evaluación entre 0,5 mm/min y 1 ó 2 mm/min, con una variación cercana al 90 % a un esfuerzo de 21,4 kPa y disminuye con el incremento del esfuerzo y de la velocidad hasta llegar a un valor cercano al 65 % cuando alcanza el máximo esfuerzo aplicado en este ensayo que fue de 83,4 kPa.

Este incremento en el módulo de elasticidad puede estar asociado a la poca disipación de presión de poros a medida que se aumenta la velocidad de corte, debido a que en todo momento se estará acoplado la presión de poros y la microestructura como un solo elemento que probablemente pueda soportar el incremento de esfuerzos aplicados.



Se presenta en la **Figura 9** la degradación del módulo de elasticidad con relación al incremento de la deformación, en donde se observa que independiente de la velocidad aplicada el suelo presenta una degradación fuertemente no lineal hasta rangos de deformación pequeños cercano al 0,004, a partir de este punto empieza a disminuir el cambio a medida que se incrementa la deformación hasta el punto en el que los valores probablemente tienden a volverse *asintóticos*.

Se observa que la degradación es menor cuando se aplica el esfuerzo de corte a una menor velocidad mientras que la degradación es mayor cuando la velocidad de corte es mayor, mostrando cierta dependencia en términos de degradación del suelo a la velocidad con la que se hace el ensayo.

En la **Figura 10** se observa como para el mismo suelo la variación de la velocidad influye en los parámetros básicos de cohesión y ángulo de fricción, en donde se puede observar que, a medida que se incrementa la velocidad se van incrementando casi de manera muy paralela la relación entre cohesión y ángulo de fricción.

Tomando como referencia la combinación de parámetros a una velocidad de 0,5mm/min, se encuentra que al cambiar a una velocidad de 1mm/min, se presenta un incremento en los parámetros del orden de un 36 %, cuando se incrementa la velocidad a 2 mm/min el incremento es del orden del 54 % en la tendencia de comportamiento de los parámetros.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Muestras de suelos residuales de anfibolita fueron recuperadas y ensayadas en la máquina de corte directo variando la velocidad del ensayo de 0,5; 1,0 y 2mm/min.

Se presentan las variaciones encontradas en función del esfuerzo cortante *versus* la velocidad de ensayo y se presenta una variación aproximada del 50 %; al evaluar el módulo de elasticidad se encontraron variaciones significativas entre la velocidad de referencia de 0,5 mm/min y la de 1 mm/min, sin embargo entre la de 1 mm/min y 2 mm/min, no se encontraron variaciones muy significativas, el módulo de elasticidad presenta una tendencia de comportamiento lineal en donde se incrementa su valor a medida que se incrementa su nivel de esfuerzos; en función de los parámetros de resistencia como la cohesión no drenada la variación es del orden del 25 %, mientras que el ángulo de fricción interna es del orden del 18 %, para todos las valoraciones se tomó como valor de referencia el valor de los ensayos realizados a una velocidad de 0,5 mm/min.

La degradación del módulo de elasticidad con el incremento de la deformación unitaria presenta una tendencia de comportamiento similar independiente de la velocidad, mientras que sus valores sí presentan unas variaciones en función de la velocidad aplicada.

La resistencia al esfuerzo cortante de los suelos residuales provenientes de la anfibolita es directamente proporcional a la velocidad con la que se realiza el ensayo, de allí la importancia de una buena selección de la velocidad con la que se hacen los ensayos en el ejercicio de la geotecnia.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los revisores del artículo por sus excelentes aportes y por la discusión generada alrededor del tema.

REFERENCIAS

Airey, D. Budhu, M & Wood D.M. (1985). Some Aspects of the Behaviour of Soils in Simple Shear. *Developments in Soil Mechanics and Foundations Engineering*. pp.185-213.

- Casagrande, A. and Shannon, W. L. (1949). Strength of Soil Under Dynamic Loads. Transactions, ASCE. Vol 114, pp. 755-772.
- De Josselin de Jong, G. (1988). Elasto-plastic Version of the Double Slidenign Model in Undrained Simple Shear test. *Geotechnique* pp. 533-555.
- Dearman, W.R. (1974), Weathering Classification in the Characterization of Rock for Engineering Purposes in British practice. *Bulletin of International association of Engineering Geologist*, 9. pp. 33-42.
- Eid, H.T., Stark, T. D., & Doerfler, C. K. (1999) Effect of Shear Displacement Rate on Internal Shear Strength of a Reinforced Geosynthetic Clay Liner. *Geosynthetics International*, 6(3), pp. 219-239.
- Horn, A. (1964). The Shear strength of silt. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1346, Westdeutscher Verlag, Köln (in German).
- Hung *et al.* (2006). Effect of Loading Rate on the Volume Change Behavior of Unsaturated Residual Soil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24(6), pp. 1527-1544.
- Kramer, U. & Rizkallah, V. (1976). Experiences with the Determination of Shear Parameters in the Shear Box Device. *Mitteilungen Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau und Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TU Hannover*, Heft 10. Eigenverlag, Hannover (in German).
- Laad, C.C (1973). Discussion. proceedings 8th International conference of soil mechanics and foundations Engineering, Moscow pp. 108-115.
- Lindemann, M. (2003). Comparison of Direct Shear Tests Performed with Devices of Different Construction Type. *Geotechnik*, 26(1), 27-32 (in German).
- Lumb, P. (1962) The Properties of Decomposed Granite. *Geotechnique*, 12(3) pp. 226-243.
- Matsuoka, H., Liu, S., Sun, D. & Nishikata, U. (2001). Development of a New in-situ Direct Shear Test. *Geotechnical Testing Journal*, 24(1), 92-102.
- Orville, P. (1969). A Model for Metamorphic Differentiation Origin in thin Layered Amphibolites. *American Journal Science*, 267(1), PP. 64-86.
- Philipp, H. (1991). About the Test Accuracy of Soil Parameters Determined in the Laboratory. *Geotechnik*, 14(4), pp. 184-189 (in German).
- Restrepo, *et al.* (1991) Precisiones geocronológicas sobre el occidente colombiano. Simposio sobre magmatismo andino y su marco de tectónico. *Memorias (Tomo I)* pp. 1-22. Manizales.
- Rowe, P.H. (1969). The Relation Between the Shear Strength of Sands in Triaxial Compression, Plane Strain and Direct Shear. *Géotechnique*, 19(1), pp. 75-86.
- Saada, A. S. & Townsend, F. C. (1981). State of the Art: Laboratory Strength Testing of Soils. In: YONG, R.N. & TOWNSEND, F.C. (eds) *Laboratory shear strength of soil*, ASTM STP 740, ASTM, Philadelphia, pp. 7-77.
- Shibuya, S., Mitachi, T. & Tamate, S. (1997). Interpretation of Direct Shear Box Testing of Sands as Quasi-Simple Shear. *Géotechnique*, 47(4), 769-790.
- Stoewahse, C. (2001). On the Determination of Friction Behaviour of Geotextiles and Soils in the Direct Shear Device. *Dissertation Universität Hannover, Mitteilungen des Institutes für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau*, Heft 56. Eigenverlag, Hannover, (in German).
- Vaughan, P.R. (1988) Keynote paper: Characterising the Mechanical Properties of *in situ* Residual Soils. Proc 2nd Int. Conf. Geomechanics in tropical soils. Singapore, Vol 2, pp. 469-487.
- Wesley, L.D. (2010). *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils*. Wiley ed. New Jersey.

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /**

Builes-Brand, M. A. (2014). Incidencia de la velocidad de aplicación de carga en la resistencia al corte no drenado de suelos residuales de anfíbolita en el Valle de San Nicolás, Antioquia (Colombia). *Revista EIA*, 11(21) enero-junio, pp. 89-97. [Online]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2014.11.21.89-97>